



TRABALHO FINAL

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

Vertigem alternobárica

Daniela Raquel Almeida da Cruz

Maio'2018



TRABALHO FINAL

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

Vertigem alternobárica

Daniela Raquel Almeida da Cruz

Orientado por:

Dr. Marco António Alveirinho Cabrita Simão

Maio'2018

Resumo

O acto de mergulhar é uma pratica realizada há séculos por homens e mulheres para diversos fins tais como alimentação, reparação de navios, observação da vida marinha, acções militares.

Esta revisão sistemática da literatura procura dar a conhecer a fisiopatologia da vertigem alternobárica, formas de prevenir a sua ocorrência bem como algumas noções gerais do mergulho (tipos de mergulho, fisiologia do mergulho).

Pela estreita relação com a atividade do mergulho durante este trabalho daremos foco ao ouvido médio e interno fazendo uma pequena descrição anatómica das estruturas, bem como a fisiologia do equilíbrio.

Palavras chave: Vertigem alternobárica, Equalização das pressões, Vertigem, Barotrauma.

(O Trabalho final exprime a opinião do autor e não da FML)

Abstract

The act of diving is a practice carried out since centuries ago both by men and women for various purposes such as feeding, repairing ships, observing marine life, military actions.

This systematic review of the literature seeks to make it known the pathophysiology of alternobaric vertigo, ways to prevent its occurrence as well as some general notions of diving (diving types, diving physiology).

Due to the close relationship with diving activity, during this work we will focus on the middle and inner ear making a brief anatomical description of the structures as well as the physiology of balance.

Key words: Alternobaric vertigo, Pressure equalization, Vertigo, Barotrauma.

(This document expresses the opinion of the author and not the FML)

Lista de Abreviaturas

VA- vertigem alterbárica

SNC – Sistema Nervoso Central

SCUBA- Self Contained Breathing Apparatus

SSBA- Surface Supplied Breathing Apparatus

BTV - Béance Tubaire Voluntaire

Índice

Introdução	8
Ouvido Médio	9
Caixa do tímpano/cavidade timpânica	9
Trompa de Eustáquio/auditiva	10
Células mastoideias	11
Ouvido Interno	12
Labirinto ósseo	12
Vestíbulo:	12
Canais Semicirculares	13
Cóclea ou Caracol	14
Labirinto membranoso	14
Vestíbulo membranoso.....	15
Canais semicirculares	15
Cóclea Membranosa – Canal/Ducto Coclear.....	16
Fisiologia do Equilíbrio.....	17
Mecanismos Vestibulares para Estabilizar os Olhos.....	20
Outros Fatores Relacionados ao Equilíbrio.....	20
Vertigem.....	22
Breve nota histórica do mergulho	23
Tipos de mergulho.....	24
Mergulho de apneia.....	24
Mergulho dependente/ Semiautónomo.....	25
Mergulho autónomo	26
Do mergulho à física.....	26
Vertigem alternobárica.....	29
Conclusão	33
Agradecimentos	34
Bibliografia	35

Índice de figuras

Figura 1- Constituição do ouvido: externo, médio e interno (disponível em http://lanatomia.blogspot.pt/2014/01/)	9
Figura 2- Anatomia do ouvido médio (disponível em http://lanatomia.blogspot.pt/2014/01/)	9
Figura 3 - Labirinto ósseo (disponível em http://lanatomia.blogspot.pt/2014/01/)	12
Figura 4 - Labirinto membranoso disponível em http://lanatomia.blogspot.pt/2014/01/	15
Figura 5 - Corte transversal de um canal do caracol disponível em (http://lanatomia.blogspot.pt/2014/01/)	16
Figura 6 -Imagem ilustrativa de um " Snorkel " (disponível em https://www.krakenaquatics.com/)	24

Introdução

A audição é fundamental ao ser humano ao longo da sua vida, sendo primordial para o contato com os nossos semelhantes e com a natureza, e é através dela que o ser humano é capaz de exercer a comunicação.

O ouvido é o órgão da audição e do equilíbrio podendo ser dividido em 3 partes : ouvido externo, o ouvido médio e o ouvido interno.

Neste trabalho daremos foco ao ouvido médio e interno pela sua estreita relação com a atividade de mergulho.

Assim de forma a enquadrar a vertigem alternobárica comecei o trabalho por fazer uma breve descrição anatômica do ouvido médio e do ouvido interno seguida de uma pequena abordagem da fisiologia do equilíbrio.

Darei uma abordagem sobre os tipos de mergulho que existem , a física por detrás da mecânica do mergulho.

Ouvido Médio

O ouvido médio corresponde a uma cavidade que contém ar sendo constituída por 3 estruturas:

- Caixa do tímpano / cavidade timpânica, onde estão os ossículos do ouvido;
- Trompa de eustáquio/auditiva;
- Cavidades mastoideias- divertículos que se desenvolvem na porção mastoideia do osso temporal.

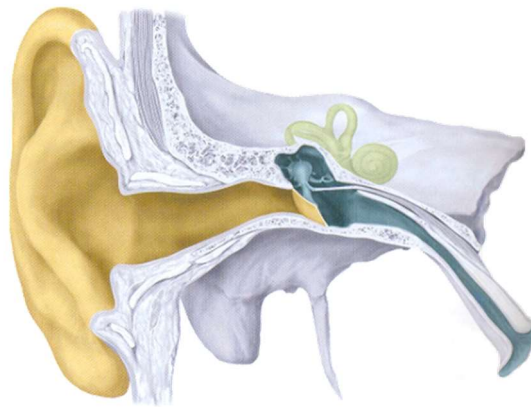


Figura 1- Constituição do ouvido: externo, médio e interno (disponível em <http://lanatomia.blogspot.pt/2014/01/>)

Caixa do tímpano/cavidade timpânica

Corresponde à cavidade entre o canal auditivo externo e o ouvido interno. Sendo atravessada, de fora para dentro por uma cadeia de ossículos articulados entre si. Os ossículos são postos em movimento por um aparelho muscular especial.¹

As paredes da caixa do tímpano e órgãos que a atravessam são revestidos por uma mucosa que comunica com a da rinofaringe, através da trompa de Eustáquio. A mucosa que vem pela trompa de Eustáquio até à caixa do tímpano é ciliada e mantém a humidade.

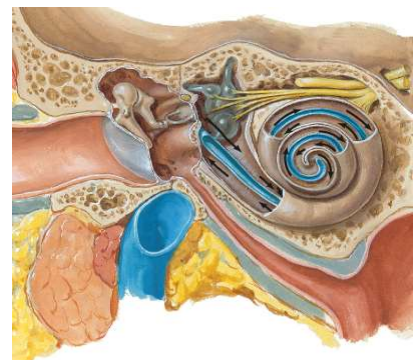


Figura 2- Anatomia do ouvido médio (disponível em <http://lanatomia.blogspot.pt/2014/01/>)

A membrana do Tímpano corresponde a uma membrana fibrosa, elástica, muito resistente que separa o canal auditivo externo (ouvido externo) da cavidade timpânica (ouvido médio). Insere-se em baixo, à frente e atrás numa ranhura semicircular – *sulcus tympanicus* ou sulco timpânico – contida na extremidade interna da goteira formada pelo osso timpânico. Ao longo deste sulco insere-se numa fita anular fibrosa - *debrum anular de Gerlach* ou anel fibrocartilaginoso da membrana do tímpano. Em cima, a membrana do tímpano liga-se à porção escamosa do osso temporal.¹

A parte superior da membrana é menos resistente que a restante que se insere no sulco timpânico, sendo denominada membrana flácida de *Schrapnell* ou pars flácida da membrana do tímpano.

Por oposição, a restante porção da membrana do tímpano designa-se pars tensa.

A pars flácida está separada da pars tensa por 2 espessamentos fibrosos, um anterior e outro posterior – pregas/ligamentos tímpano-maleolares. Estas pregas seguem-se ao debrum anular de Gerlach e estendem-se desde as extremidades anterior e posterior da goteira timpânica até ao vértice da apófise lateral do martelo.

A cadeia de ossículos é movida pela tensão e ligeiras alterações na forma do tímpano. Deforma-se sobre a ação das variações de pressão aérea e com os movimentos do cabo do martelo, conservando sempre uma certa rigidez. A cadeia de ossículos é constituída por 3 estruturas de fora para dentro o Martelo o Bigorna o Estribo. As ondas sonoras provocam um deslocamento da membrana do tímpano e da cadeia de ossículos, provocando um fluxo nos líquidos no caracol, uma vez que o estribo está ligado ao caracol.²

Trompa de Eustáquio/auditiva

A trompa de Eustáquio é um canal ósteo-fibro-cartilaginoso que comunica a cavidade timpânica à rinofaringe. Permite a entrada de ar em cada movimento de deglutição, igualando a pressão de cada lado da membrana do tímpano. Encontra-se à frente da cavidade timpânica. Dirige-se da cavidade timpânica para a frente/dentro/baixo. Mede em média 4 cm. Sendo constituída por 2 segmentos: o segmento ósseo (1/3 posterior) e o segmento fibrocartilaginoso nos 2/3 anteriores separados pelo istmo (ponto de menor calibre da trompa).¹

O segmento ósseo é formado internamente, por um escavado na face antero-externa da porção petrosa do temporal, à frente da cavidade timpânica e por baixo do canal do músculo do martelo e externamente pela apófise tubária da porção timpânica do osso temporal

O segmento fibrocartilaginosa (2/3 anteriores) é formada pela lâmina cartilaginosa em forma de canal aberto inferiormente pela lâmina membranosa que se estende de um bordo ao outro da lâmina cartilaginosa.

A mucosa tubária reveste a superfície interna da trompa continuando-se com a mucosa da nasofaringe (à frente) e a mucosa timpânica (atrás) vai engrossando, da porção óssea ao orifício faríngeo. No orifício faríngeo apresenta a amígdala tubária.

Aparelho Motor da Trompa de Eustáquio

Os músculos envolvidos são o elevador do véu do palato (peristafilino interno) e o tensor do véu do palato (peristafilino externo). Quando estão em repouso, a trompa está fechada quando se contraem, a trompa abre-se à custa da porção fibrocartilaginosa.

O músculo elevador do véu do palato é um dilatador do orifício faríngeo inserindo-se na face inferior do rochedo do temporal, extremidade anterior da parte óssea da trompa percorrendo a face inferior da trompa terminando no véu do palato, quando atinge o orifício faríngeo. Tem como ação levantar o piso fibroso (face inferior da trompa) e abre o orifício faríngeo³

O músculo tensor do véu do palato é um dilatador da trompa inserindo-se na fosseta escafoideia, bordo interno da grande asa do esfenóide + 1/3 superior da porção fibrosa da trompa auditiva terminando no gancho da apófise pterigoideia (continuasse depois com um tendão que se confunde com a lâmina fibrosa do véu do palato). Tem como ação separar a parede antero-externa da pósterointerna do canal fibrocartilaginoso, por deslocamento da parede antero-externa, dilatando ao canal fibrocartilaginoso da trompa.³

Células mastoideias

As células mastoideias correspondem a cavidades pneumáticas, divertículos escavados na cavidade timpânica, na espessura da porção mastoideia do temporal tendo

como função tornar o crânio mais leve, sendo constituído por 3 porções, da frente para trás: a entrada do antro (*aditus ad antrum*); o antro mastoideu e as células mastoideias propriamente ditas.

Ouvido Interno

O ouvido interno como o próprio nome indica está interno ao ouvido médio e à caixa do tímpano.

Na verdade, este é constituído por duas porções distintas:

- Labirinto ósseo
- Labirinto membranoso

Labirinto ósseo

O labirinto ósseo é constituído por 3 partes:

1. Vestíbulo - parte média;
2. Canais semi-circulares - parte pósterio-superior;
3. Caracol ou cóclea - parte anterior



Figura 3 - Labirinto ósseo (disponível em <http://lanatomia.blogspot.pt/2014/01/>)

Vestíbulo:

O vestíbulo é uma cavidade ovóide aplanada transversalmente com 6 paredes:

- Parede externa – relacionada com a caixa do tímpano. Apresenta a janela oval, com a qual se relaciona com a palatina do estribo
- Parede Interna – em relação com $\frac{1}{2}$ posterior do canal auditivo interno, apresenta 3 depressões:
- Fossa semi-ovóide ou elíptica (ântero-superior)
- Fossa hemisférica (ântero-inferior), separada da ovóide pela crista do vestíbulo
- Fossa coclear (pósterio-inferior), atrás da hemisférica ~

- Todas as fossas dão passagem a filetes de origem do nervo auditivo. Para cima da fossa coclear e atrás da fossa semi-ovóide está o orifício do Aqueduto do Vestíbulo, circundado por uma depressão – goteira sulquiforme.
- Parede anterior – relacionada em cima com a 1ª porção do canal do facial, e em baixo com a parte superior do caracol. Na porção inferior comunica com a rampa vestibular do caracol;
- Parede superior - tem os orifícios dos canais semicirculares;
- Parede posterior – tem os orifícios dos canais semicirculares;
- Parede Inferior ou piso do vestíbulo – formado por uma lâmina que está na origem da lâmina espiral do caracol, fixa no seu bordo interno à parede interna do vestíbulo. Pelo seu bordo externo livre, a cavidade vestibular comunica com a cavidade subvestibular subjacente.

Aqueduto do Vestíbulo– canal ósseo que une o vestíbulo à cavidade craniana. Tem início na parede interna do vestíbulo (extremidade superior da goteira sulquiforme), vai para trás/dentro/baixo e abre-se na face pósterio-superior do rochedo, atrás do orifício do canal auditivo interno. Contém o canal endolinfático.²

Canais Semicirculares

Os canais semicirculares correspondem a três tubos cilíndricos que se abrem no vestíbulo através das suas 2 extremidades.

- Canal semicircular anterior – é vertical, perpendicular ao grande eixo do rochedo e convexo para cima. Determina a formação da eminência arcuata na face ântero-superior do rochedo. Orifício ampulhar termina na parte anterior da face superior do vestíbulo. Orifício não ampulhar termina por dentro do ampulhar, na face superior, juntamente com orifício não ampulhar do canal semicircular posterior.
- Canal semicircular posterior – vertical, paralelo ao grande eixo do rochedo e convexo para trás/fora. Orifício não ampulhar junta-se ao orifício não ampulhar do canal semicircular anterior. Orifício ampulhar termina na parte inferior da parede posterior do vestíbulo.

- Canal semicircular externo ou horizontal – horizontal, convexo para fora/trás. Sobressai na parede interna do aditus ad antrum. Orifício não ampulhar na parede posterior do vestíbulo. Orifício ampulhar por cima/atrás da janela oval, na parede superior do vestíbulo.

Dos seus 2 orifícios, um é dilatado (orifício ampulhar) e outro não (orifício não ampulhar).¹

Cóclea ou Caracol

A cóclea é um canal ósseo enrolado em torno de um eixo cónico denominado columela ou modíolo, orientado obliquamente para a frente/fora. À frente do vestíbulo e da 1ª porção do canal do facial, por dentro do promontório, por fora/frente do orifício do canal auditivo interno. A sua base corresponde ao fundo do canal auditivo interno. O seu vértice corresponde ao promontório. Formado por um tubo ósseo (lâmina dos contornos) que dá 2,5 voltas em torno da columela e termina na cúpula do caracol (helicotrema).¹

O seu calibre está parcialmente dividido em 2 pela lâmina espiral óssea, que divide o caracol em 2 rampas:

- Rampa vestibular – superior, comunica com o vestíbulo;
- Rampa timpânica – inferior, comunica com a cavidade subvestibular, a qual por sua vez comunica com a caixa timpânica através da janela redonda.

A base da columela é côncava e perfurada por numerosas aberturas que formam uma linha em espiral ao longo do bordo aderente da lâmina – canal espiral de Rosenthal, escavado na columela. Deste canal partem pequenos canalículos que penetram pelo bordo aderente da lâmina espiral, abrindo-se no seu bordo livre, na cavidade da cóclea.

Aqueduto do caracol – canalículo ósseo que vai da cóclea ao bordo posterior do rochedo, por onde passa o ducto/espço perilinfático e uma vénula. Tem origem na rampa timpânica (num orifício localizado pouco à frente da janela redonda) e termina no fundo da fosseta petrosa, escavada no bordo posterior do rochedo.

Labirinto membranoso

O labirinto membranoso corresponde à outra porção do ouvido interno.

Este é composto por cavidades membranasas contidas no labirinto ósseo e preenchidas por endolinfa. Apesar disso, não ocupam a totalidade da cavidade do labirinto ósseo (têm um diâmetro menor), pelo que na periferia do labirinto membranoso temos ainda a perilinfa.

Mais uma vez, é composto por três partes, análogas ao labirinto ósseo: um vestíbulo, canais semi-circulares e o caracol (ou canal coclear).²

Vestíbulo membranoso

É composto por 2 vesículas, contidas no vestíbulo ósseo:

1. Superior: Utrículo (alongado) corresponde à fosseta semi-ovóide/elíptica
2. Inferior: Sáculo (arredondado) corresponde à fosseta hemisférica.

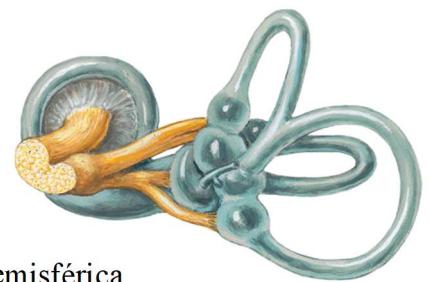


Figura 4 - Labirinto membranoso disponível em <http://anatomia.blogspot.pt/2014/01/>

No resto da superfície, o utrículo e o sáculo estão separados da parede óssea pelo espaço perilinfático. Da parede interna das vesículas nascem fibras utriculares e saculares do nervo vestibular que atravessam os orifícios da fosseta semi-ovóide e hemisférica para atingir o canal auditivo interno.

No vestíbulo, descreve-se ainda o canal endolinfático, que resulta da união de dois canais que surgem da parede interna tanto do utrículo como do sáculo. Este canal vai penetrar no aqueduto do vestíbulo indo terminar na dura-máter num fundo-de-saco endolinfático.¹

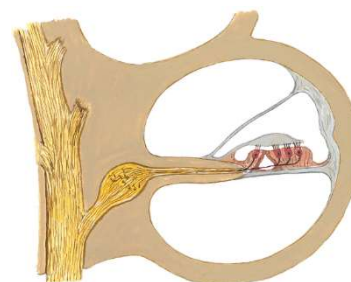
Canais semicirculares

Os canais semicirculares membranasos tem a mesma configuração que os canais semicirculares ósseos, nos quais estão contidos. Ocupam só uma porção da cavidade óssea, aderindo ao bordo convexo do canal ósseo. O resto da superfície contém o espaço perilinfático. Da parede interna das ampolas dos canais nascem fibras nervosas que atingem o canal auditivo interno através dos orifícios da fosseta semiovíde. As fibras

provenientes do canal semicircular posterior atravessam a parede vestibular óssea e atingem o fundo do canal auditivo interno pelo foramen singular de Morgani.

Cóclea Membranosa – Canal/Ducto Coclear

É um tubo prismático triangular que ocupa o espaço entre o bordo livre da lâmina espiral e a porção correspondente da lâmina dos contornos, completando assim o septo formado pela lâmina espiral, entre as duas rampas da cóclea.



Apresenta 3 paredes:

1. Externa/ Lig. Espiral: aplicado sobre a lâmina dos contornos;
2. Superior/membrana de *Reissner*: relacionada com a rampa do vestíbulo;
3. Inferior ou membrana basilar – no prolongamento da lâmina espiral. O canal coclear relaciona-se através desta parede com a rampa timpânica. Suporta o órgão de Corti, de onde têm origem as fibras da porção coclear do nervo auditivo.³

Figura 5 - Corte transversal de um canal do caracol disponível em [\(http://lanatomia.blogspot.pt/2014/01/\)](http://lanatomia.blogspot.pt/2014/01/)

O canal coclear prolonga-se para trás sobre o pavilhão do vestíbulo (face inferior), para além da lâmina espiral e termina em fundo de saco – porção vestibular do canal coclear. A porção vestibular da cóclea está unida ao sáculo pelo *canalis reuniens* de Henson (ou ducto de união).

Todas as cavidades do labirinto membranoso comunicam entre elas por intermédio dos canalículos de origem do canal endolinfático e do *canalis reuniens*. Todas estas cavidades são preenchidas por endolinfa. Os espaços perilinfáticos são preenchidos por perilinfa, septados irregularmente por trabéculas ósseas que unem as paredes membranosas ao periósteo (excepto na cóclea). Na cóclea as 2 rampas (timpânica e vestibular) são espaços perilinfáticos livres em toda a sua extensão.³

Fisiologia do Equilíbrio

O equilíbrio é, controlado pela circulação da perilinfa e da endolinfa no vestíbulo e nos canais semicirculares. Nas ampolas dos canais, existem umas estruturas designadas por cristas ampolares que contêm, tal como um órgão de Corti, células ciliadas. No sáculo e no utrículo existem, também, umas estruturas que da mesma forma contêm células ciliadas, que se designam por mácula.⁴

A mácula do utrículo situa-se principalmente no plano horizontal, na superfície inferior do utrículo, e desempenha um papel importante em determinar a orientação da cabeça quando esta fica em posição erecta.⁴

A mácula do sáculo está localizada principalmente no plano vertical e sinaliza a orientação da cabeça quando o indivíduo está deitado.

Cada mácula é coberta por uma camada gelatinosa, na qual ficam imersos inúmeros pequenos cristais de CaCO_3 , chamados estatocónias. Na mácula encontram-se também milhares de células ciliadas, projectando os seus cílios para cima na camada gelatinosa. As bases e lados destas células fazem sinapse com as terminações sensoriais do nervo vestibular. As estatocónias calcificadas têm uma gravidade específica 2 a 3 vezes acima da gravidade específica do líquido e tecidos circunjacentes. Devido ao seu alto peso específico, as estatocónias tracionam a massa gelatinosa durante a aceleração linear, provocando o deslocamento dos cílios. Dependendo da orientação dos cílios nos diferentes campos, os movimentos levam à despolarização ou hiperpolarização das células ciliadas.⁴

Cada célula ciliada tem 50 a 70 estereocílios e um grande cílio – o quinocílio. O quinocílio está localizado de um lado e os estereocílios tornam-se cada vez mais pequenos em direcção ao lado oposto. A ponta de cada estereocílio está unida ao próximo estereocílio mais longo, até ao quinocílio, inclusive, por meio de filamentos. Assim, quando os estereocílios se curvam na direcção do quinocílio, os filamentos puxam os estereocílios, afastando-os do corpo celular. Este fenómeno faz abrir várias centenas de canais catiónicos na membrana celular, gerando um influxo de catiões para dentro da célula, permitindo a sua despolarização. Pelo contrário, a deformação do conjunto de estereocílios na direcção oposta reduz a tensão nas fixações levando ao encerramento dos canais catiónicos, favorecendo a repolarização/hiperpolarização da célula receptora.

Em condições normais de repouso, as fibras nervosas que saem das células ciliadas transmitem continuamente impulsos nervosos a uma taxa de 100 por segundo.⁵

Aquando da despolarização, ocorre um aumento significativo da taxa de impulsos. Pelo contrário, a deformação dos cílios para longe do quínocílio diminui o nº de impulsos, podendo até inibi-los completamente (hiperpolarização).⁵

Em cada mácula, cada uma das células ciliadas é orientada numa direcção diferente para que algumas delas sejam estimuladas quando se deformam para trás, enquanto outras são estimuladas quando se deformam para um lado, e por aí adiante. Portanto, ocorre um padrão diferente de excitação nas fibras nervosas maculares para cada orientação da cabeça no espaço. É este “padrão” que notifica o SNC sobre a orientação da cabeça.⁷

Os canais semicirculares sendo três: um anterior, um posterior e um lateral/horizontal, dispostos em ângulos rectos entre si, de modo a representarem os 3 planos no espaço. Cada canal semicircular apresenta uma dilatação numa das extremidades chamada ampola. Os canais e as respectivas ampolas estão preenchidos por endolinfa. Em cada ampola existe uma pequena crista ampular. Na parte superior desta crista há uma massa de tecido gelatinoso frouxo, a cúpula.

Quando a cabeça de um indivíduo começa a girar em qualquer direcção, a inércia da endolinfa gera aumento do desvio da cúpula. Na cúpula projectam-se centenas de cílios das cerca de 7000 células ciliadas localizadas em cada crista ampular. Os quínocílios destas células são todos orientados na mesma direcção (ao contrário das células da mácula). As células ciliadas e os seus cílios apresentam conformação idêntica à das células ciliadas da mácula. A deformação da cúpula na direcção do quínocílio causa despolarização das células ciliadas. A deformação da cúpula na direcção oposta hiperpolariza as células ciliadas. A partir das células ciliadas são enviados sinais apropriados por meio do nervo vestibular, a fim de notificar o SNC sobre a mudança de rotação da cabeça e da velocidade de mudança em cada um dos 3 planos.⁶

O sistema do utrículo e do sáculo funciona de maneira eficaz para manter o equilíbrio quando a cabeça está em posição quase vertical.

As máculas operam para manter o equilíbrio durante a aceleração linear exactamente da mesma maneira que operam durante o equilíbrio estático. Contudo, as máculas não operam para a detecção da velocidade linear. Quando os corredores começam a correr, precisam de se inclinar para a frente para impedir uma queda para trás devido à aceleração inicial (há uma intervenção das máculas), mas uma vez atingida a velocidade de corrida, a inclinação do seu corpo para a frente serve somente para manter o equilíbrio devido à resistência do ar (neste caso, não são as máculas que o fazem inclinar-se para a frente, mas a pressão do ar que actua sobre os receptores de pressão na pele, o que induz ajustes do equilíbrio, a fim de impedir quedas).⁶

Quando a cabeça subitamente começa a girar em qualquer direcção (a chamada aceleração angular), a endolinfa nos canais, devido à sua inércia, tende a continuar estacionária enquanto os canais giram. Isto causa um fluxo relativo do líquido nos canais na direcção oposta à da rotação da cabeça.⁷

A razão para esta adaptação do receptor é que, durante os primeiros segundos de rotação, a inércia da endolinfa leva a que esta permanece estacionária nos canais. Isto, em combinação com o movimento dos canais rápido gera uma deformação maior da cúpula e, conseqüentemente uma maior despolarização da célula ciliada. Segundos depois, vencida a resistência inercial ao fluxo do líquido no canal semicircular, a endolinfa começa a rodar tão rapidamente quanto o próprio canal, o que faz com que a cúpula retorne lentamente à sua posição inicial de repouso, diminuindo o nº de impulsos da célula ciliada.⁷

Quando a rotação para subitamente, têm lugar os efeitos completamente opostos: a endolinfa continua a girar, enquanto o canal semicircular pára. Neste momento, a cúpula deforma-se para o lado oposto, fazendo com que ocorra uma hiperpolarização da célula, inibindo os impulsos por esta enviados. Depois de alguns segundos, a endolinfa para de se movimentar e a cúpula retorna à sua posição de repouso, permitindo assim que a descarga das células ciliadas retorne ao seu nível normal (100 impulsos por segundo). Deste modo, o canal semicircular transmite um sinal de polaridade quando a cabeça começa a girar e de polaridade oposta quando ele para de girar.⁷

Os canais semicirculares detectam se a cabeça do indivíduo está a começar ou a parar de girar numa direcção ou noutra. Não intervêm na manutenção do equilíbrio estático ou do equilíbrio durante movimentos direccionais ou rotacionais constantes. Ainda assim, a perda de função destes canais faz com que o indivíduo tenha pouco equilíbrio quando tenta realizar movimentos corporais com mudanças intrincadas rápidas. Exemplo: uma pessoa está a correr para a frente rapidamente e depois vira-se subitamente para um lado. Ela sairá do equilíbrio uma fracção de segundo mais tarde a menos que sejam feitas correcções apropriadas antecipadamente. Os canais semicirculares intervêm nessas correcções, tendo uma função preditora se o desequilíbrio vai ocorrer ou não e, assim, faz com que os centros do equilíbrio realizem ajustes preventivos antecipatórios apropriados. A remoção dos lobos floclonodulares do cerebelo impede a detecção normal de sinais dos canais semicirculares, mas tem pouco efeito em detectar sinais maculares. O cerebelo serve como órgão preditivo para movimentos corporais mais rápidos, bem como para aqueles relacionados com o equilíbrio.⁴

A rotação da cabeça para a direita produz um fluxo de endolinfa para a esquerda devido à inércia. O arranjo dos estereocílios permite o estímulo contrário dos órgãos vestibulares direito e esquerdo. No lado direito ocorre o desvio dos estereocílios no sentido do quinocílio, levando a um aumento da despolarização. No lado esquerdo o desvio é no sentido oposto ao do quinocílio, ocorrendo uma diminuição da frequência dos impulsos. Este arranjo aumenta o contraste do estímulo e, portanto, permite a melhor percepção do estímulo.⁵

Mecanismos Vestibulares para Estabilizar os Olhos

Cada vez que a cabeça é rodada subitamente, sinais dos canais semicirculares fazem com que os olhos rodem numa direcção igual e de sentido oposto ao da rotação da cabeça. Este mecanismo resulta de reflexos transmitidos pelos núcleos vestibulares e pelo feixe longitudinal medial aos núcleos oculomotores. Este mecanismo permite então estabilizar a direcção do olhar, ou fixar um objecto por tempo suficiente.⁷

Outros Fatores Relacionados ao Equilíbrio

Proprioceptores do pescoço: o sistema vestibular detecta apenas a orientação e o movimento da cabeça. As informações sobre a orientação da cabeça em relação ao pescoço são transmitidas por proprioceptores do pescoço (ex: receptores articulares do pescoço) e do corpo directamente aos núcleos vestibulares e reticulares no tronco cerebral, e indirectamente através do cerebelo.⁵

As informações proprioceptivas de outras partes do corpo, que não o pescoço, também são importantes na manutenção do equilíbrio. Por exemplo, as sensações de pressão das plantas dos pés dizem à pessoa se o peso está igualmente distribuído entre os dois pés ou se o peso nos pés está direccionado mais para a frente ou para trás. Informações exteroceptivas são também necessárias para a manutenção do equilíbrio quando uma pessoa está a correr. A pressão do ar contra a parte da frente do corpo envia uma informação que depois se traduz na inclinação do corpo para a frente, a fim de fazer frente à resistência do ar sobre o corpo.⁵

Após a destruição do aparelho vestibular ou até após a perda da maior parte das informações proprioceptivas do corpo, um indivíduo ainda pode usar os mecanismos visuais de maneira eficaz para manter o equilíbrio. Algumas pessoas com destruição bilateral do aparelho vestibular têm equilíbrio quase normal enquanto os seus olhos estão abertos e todos os movimentos são realizados lentamente. Contudo, quando o movimento é rápido ou os olhos estão fechados, o equilíbrio é imediatamente perdido.¹⁰

A maior parte das fibras nervosas vestibulares termina no tronco cerebral, nos núcleos vestibulares, localizados na junção bulbo-protuberencial. Algumas fibras passam directamente aos núcleos reticulares do tronco cerebral, aos núcleos fastigiais cerebelares e lobos flóculo-nodular e uvular, sem sinapsar com os núcleos vestibulares. As fibras que terminam nos núcleos vestibulares fazem sinapse com neurónios de 2ª ordem, os quais também enviam fibras para o cerebelo, tractos vestibulo-espinhais, feixe longitudinal medial e outras áreas do tronco cerebral (núcleos reticulares).⁷

A via primária para os reflexos do equilíbrio começa nos nervos vestibulares, passando depois para os núcleos vestibulares e cerebelo. A seguir, são enviados sinais para os núcleos reticulares do tronco cerebral, bem como para a medula espinhal através dos tractos vestibulo-espinhais e reticulo-espinhais. Os sinais para a medula controlam a inter-relação entre a facilitação e inibição dos muitos músculos antigravíticos, deste modo controlando automaticamente o equilíbrio. O tracto vestibulo-espinhal facilita a acção dos músculos extensores e antigravíticos, em detrimento dos flexores. O tracto rubro-espinhal desempenha função contrária ao do tracto vestibulo-espinhal. Os lobos floclunodulares do cerebelo estão associados a sinais de equilíbrio dinâmico dos canais semicirculares.⁸

Uma lesão nesta região do cerebelo ou nos canais semicirculares gera uma perda de equilíbrio dinâmico durante alterações rápidas da direcção do movimento, mas não perturba o equilíbrio sob condições estáticas (acredita-se que a úvula cerebelar desempenhe um papel no equilíbrio estático). Sinais transmitidos cranialmente para o tronco cerebral e sinais provenientes dos núcleos vestibulares e do cerebelo, por meio do feixe longitudinal mediano, causam movimentos correctivos dos olhos cada vez que a cabeça gira, de modo que os olhos continuam fixados num objecto visual específico. Os sinais também ascendem, através do feixe longitudinal mediano ou outros tractos reticulares, até ao córtex cerebral, terminando no centro cortical primário para o equilíbrio, localizado no lobo parietal, profundamente no rego de Sylvius, e no lábio superior do rego de Sylvius, em oposição à área auditiva. Estes sinais dão informações sobre as condições de equilíbrio do corpo.⁹

Vertigem

O conceito de vertigem pode integrar tanto uma perturbação da orientação espacial, como uma percepção ilusória de movimento do corpo e /ou do exterior em relação a nós.

O doente apresentará queixas de sensação ilusória de rotação horária ou anti-horária ou de movimento rítmico numa dada direção, doo ambiente em relação ao próprio ou dele em relação ao ambiente.¹⁰

As tonturas são o principal diagnostico diferencial das vertigens que pode incluir sensação de perda de conhecimento iminente, sensação de cabeça leve, dificuldade em organizar o pensamento e alteração da consciência.

As vertigens podem ser acompanhadas de sintomas como a sudação, cefaleias, náuseas, palidez, vômitos, bradicardia, sensação de desfalecimento.¹¹

As vertigens podem ser classicadas de diferentes formas:

- ✓ Quanto a sua etiologia - traumática, posicional, psicogénica, fisiológica, vestibular;
- ✓ Localização da lesão/disfunção – vertigem central ou vertigem periférica;
- ✓ Duração;
- ✓ Modo de instalação;
- ✓ Factores desencadeantes
- ✓ Evolução – instalação súbita, episódica, regressão progressiva ou crónica.¹¹

Breve nota histórica do mergulho

As doenças relacionadas com o mergulho possuem uma longa história existem relatos históricos de atividades de mergulho na tentativa de encontrar pérolas, tesouros naufragados, conchas, mercadorias e peças valiosas assim como para naufrágio de navios inimigos.

Existem registos do historiador Heródoto do 5º século a.C., das façanhas subaquáticas realizadas pelo compatriota grego Scyllias contra os persas. Reza a lenda que Scyllias foi mantido prisioneiro a bordo do Rei persa Xerxes numa tentativa de escape lançou-se ao mar e utilizou um tubo oco (canudo) para respirar e permaneceu escondido durante o dia conseguindo escapar à noite. Este tubo é o equivalente atualmente ao snorkel.

Assim por muito tempo, a atividade de mergulho permaneceu basicamente como era no tempo de Heródoto, Scyllias e Xerxes. A utilização de snorkels mais comprimidos para conseguir uma maior profundidade não funcionava, pois o mergulhador não conseguia alcançar profundidades superiores a um metro.

Embora tenham havido diversas invenções tecnológicas na tentativa de melhorar a atividade do mergulho, somente em junho de 1942, durante a II Guerra Mundial, JacquesYves Cousteau (tenente da Marinha francesa) e Emile Gagnan (engenheiro de uma companhia de gás natural francesa) desenvolvem, mediante a alteração de um regulador de automóvel alemão movido a gás natural, uma válvula para prover ar comprimido a um mergulhador. Eles conectaram este novo invento à mangueira, à peça bucal e a um par de tanques de ar comprimido, definido pelo acrônimo em inglês (SCUBA - selfcontained underwater breathing Apparatus) foi patenteado como Aqua Lung.

Jacques Cousteau recebe aclamação mundial por suas inovações tecnológicas (câmaras e veículos subaquáticos), explorações subaquáticas, filmes, livros e dedicação às causas do meio ambiente (Portal Cousteau, web).

Mark Oram (1999) afirma que o scuba é a mais importante invenção no que diz respeito ao turismo marinho.

Antes do advento do scuba, o mundo marinho permaneceu em grande parte inexplorado e misterioso. Esta incerteza e inacessibilidade resultavam numa tendência pouco atrativa das pessoas em participar de atividades na água. Sendo capaz de transformar a imagem do mar de um estranho, inóspito e ameaçador local para um fascinante, agradável e, mais importante, acessível local.¹²

Tipos de mergulho

Existem três tipos de mergulho:

1. O mergulho de apneia/ snorkeling
2. O mergulho autónomo
3. O mergulho dependente

Mergulho de apneia

O mergulho de apneia e o snorkeling apenas requerem a utilização de máscara, de um “snorkel” e de barbatanas.

O “*snorkel*” não é nada mais que um tubo que permite respirar à superfície da água, a máscara um instrumento para visualizar debaixo de água e as barbatanas dar a propulsão para o mergulho.



Num mergulho em apneia implica uma respiração forçada antes de iniciar o mergulho, o tempo que aguenta submerso dependa da sua experiência variando de alguns minutos. Uma forma de ajudar a descida é a utilização de pesos num mergulho em apneia. No snorkeling o mergulhador nada à tona da água utilizando o “snorkel” para permitir respirar à superfície.¹²

Figura 6 -Imagem ilustrativa de um " Snorkel " (disponível em <https://www.krakenaquatics.com/>)

Mergulho dependente/ Semiautónomo

Este tipo de mergulho é frequentemente utilizado por profissionais que trabalham em plataformas de petróleo e na construção civil.

Trata-se de um mergulho com abastecimento de ar da superfície o “SSBA” (Surface Supplied Breathing Apparatus) acompanhado do uso de uma máscara que vede a boca o nariz e os olhos ou um capacete com equipamento que permite a troca de informações com a equipa de superfície.¹³

Mergulho autónomo

Este tipo de mergulho permite ao mergulhador ficar mais tempo submerso com o auxílio de equipamento de respiração. O mergulho autónomo pode ser dividido basicamente em: mergulho recreativo e mergulho técnico. Os manuais das várias certificadoras de mergulho recreacional, apontam para a profundidade limite para este tipo de mergulho, na casa dos quarenta metros de profundidade.

O recorde de profundidade pertence ao mergulhador Nuno Gomes (sul Africano) que conseguiu a pericia de atingir os -318,25 metros.¹³

O sistema SCUBA (Self Contained Breathing Apparatus) é um circuito de sistema aberto constituído por:

- Uma máscara e um tubo com um “espaço morto” reduzido
- 1 ou 2 garrafas preenchidas com ar comprimido ou uma mistura respiratória
- Uma parte superior com uma válvula redutora de alta pressão fornecida pelas garrafas permitindo alimentar o regulador por onde o mergulhador vai efetuar as trocas gasosas.
- Uma parte inferior consistindo num regulador permitindo ao mergulhador com uma pequena pressão negativa na inspiração abrir a válvula permitindo assim o fornecimento da mistura gasosa aos pulmões. Além disso permite realizar a expiração com uma pressão um pouco superior à existente na profundidade a que o mergulhador se encontra no local.¹³

Do mergulho à física

Para melhor compreender a arte do mergulho e seus efeitos sobre o corpo humano, é necessário conhecer algumas noções de física. Ao mergulhar entramos em contacto com

um mundo completamente novo, encontrando diferentes condições daquelas que existem à superfície.

Foi Boyle em 1670, que deu o pontapé de saída na procura pelo conhecimento na área hoje conhecida como hiperbárica.¹⁴

A lei de Boyle postula que para uma temperatura constante, o volume de um gás varia na razão inversa à pressão a qual este gás está sujeito. Por outras palavras, se a pressão aumenta, o volume diminui, e a redução da pressão resulta em expansão gasosa.¹⁵

A equação correspondente é:

$$PV = K \quad \text{onde } P \text{ é a pressão,}$$

V o volume e

K a constante.

A aplicação clínica da lei de Boyle é que o gás (ar) fechado em um espaço do corpo humano vai diminuir seu volume na compressão (descida no mergulho), e aumentar o seu volume na descompressão (subida). A lei de Boyle descreve o princípio do barotrauma. A pressão aumenta proporcionalmente à profundidade. Como a água é um meio muito mais denso que o ar, pequenas alterações na profundidade resultam em grandes alterações de pressão. A pressão atmosférica ao nível do mar é de 1 ATM. O mesmo é obtido com apenas 10 metros de coluna de água. Deste modo, temos um acréscimo de 1 ATM a cada 10 metros de profundidade.¹⁵

Assim sendo por cada 10 metros de profundidade percorridos pelo mergulhador durante a descida, a pressão a que está sujeito aumenta uma atmosfera e o volume de ar contrai-se para metade. O barotrauma pode ser definido como a danificação de tecidos por efeitos directos da pressão. Afim de evitar barotraumatismo a pressão nas cavidades preenchidas por ar deve ser equalizada com a pressão ambiente. Se a equalização não se verificar à medida que o mergulhador desce, o meio vai se tornando cada vez mais hiperbárico podendo ocorrer uma transudação sero-hemática ou mesmo hemorragia, que irá preencher as cavidades pneumatizadas, numa tentativa de aumentar a sua pressão (equalizando-as). Na subida ocorre a expansão do ar contido nas cavidades pneumatizadas e caso não exista libertação desse volume de ar suplementar, ocorre também barotrauma.¹⁴

A grande maioria dos mergulhos recreativos ocorre a profundidades na ordem dos 18 a 40 metros, podendo a pressão variar entre as 3 e 5 atmosferas.

Ao regressar à superfície , o volume de ar que estava aprisionado numa cavidade expande 3 a 5 vezes, podendo originar uma força destrutiva considerável na situação em que as vias de equalização não estavam permeáveis. Ao iniciar o mergulho a equalização da pressão precoce e frequente é uma importante medida preventiva.¹⁵

Vertigem alternobárica

O termo Vertigem alternobárica (VA) foi descrito pelo Dr. Claes Lundgren em 1965.

O termo alternobárica resultada da combinação de : *alter* + *bar* + *ica* onde *alter* significa outro; *bar* significa pressão; *ica* significa a condição de.

A Vertigem alternobárica tem na sua origem num desequilíbrio de pressões entre os dois ouvidos médios.¹⁶

Este desequilíbrio de pressão faz com que o cérebro interprete de forma errada a diferença como se de movimento se tratasse. Pode ser acompanhada de nistagmo (movimento involuntário rítmico dos glóbulos oculares), bem como náuseas e vômitos em situações mais graves.

Além dos problemas visuais, esta condição pode ser acompanhada por uma sensação de plenitude auricular, *tinnitus* (zumbido nos ouvidos) assim como uma diminuição da audição.¹⁷

Alguns mergulhadores podem ouvir um som sibilante ou de algo a ranger antes do início da VA.

Os indivíduos do sexo feminino são mais suscetíveis a sofrer desta patologia.

É mais frequente ocorrer vertigem alternobárica durante a subida podendo no entanto esta ocorrer também na descida.

Os sintomas podem variar desde leves a graves, sendo normalmente transitórios, desaparecendo em segundos/minutos conforme a pressão se equilibra.

O grande desafio dos mergulhadores que experenciam os sintomas pela primeira vez é de evitar atitudes que possam piorar a situação.

A capacidade de manter o controle e uma posição parada pode permitir que os sintomas se resolvam naturalmente, com um mínimo risco de complicações. Sintomas que persistem podem sugerir uma situação mais grave.¹⁶

Muitos dos casos de vertigem alternobárica não foram ainda documentados porque os sintomas se resolveram rapidamente e o mergulhador não procurou ajuda médica ou em alguns casos a ocorrência da vertigem alternobárica pode ter desencadeado um evento fatal.

A situação de pânico gerada por uma desorientação inesperada pode levar a acidentes graves ou até mesmo fatais se um mergulhador ascender de forma muito rápido à superfície

Uma forma de reduzir a possibilidade de vertigem alternobárica é garantir que não se encontra congestionado no momento do mergulho. O uso de descongestionantes nasais pode ser uma excelente opção aliviam temporariamente os sintomas. No entanto o uso por períodos superiores a 5 dias pode resultar num fenómeno de rebound.

Alguns mergulhadores relatam ser mais fácil equilibrar as pressões mantendo a cabeça numa posição erecta. Realizar a subida num ritmo lento poderá ser uma alternativa em alguns casos.²⁰

Quando a vertigem alternobárica ocorre os mergulhadores ao verem-se nessa situação ficam desorientados podendo entrar em pânico tentando uma subida descontrolada podendo assim danificar estruturas nobres do ouvido.

Se acontece no início do mergulho é aconselhado abortar o mergulho. Quando o mergulhador já se encontra a uma profundidade considerável tentar arranjar uma referência visual fixa como um objecto imóvel (rocha, fundo) e esperar que os sintomas desapareçam pode ser uma boa opção.

No entanto por vezes a situação pode ser mais grave e os sintomas persistirem por longos minutos podendo levar a um barotrua do ouvido médio ou interno.

O mergulhador pode sentir uma forte dor no instante em que o tímpano se rompe, possivelmente seguido de uma vertigem transitória intensa causada pela entrada de água relativamente fria no ouvido. Esses sintomas irão da mesma forma desaparecer conforme a diferença de temperatura diminui. O tratamento em casos leves pode incluir descongestionantes e antibióticos.¹⁹

Lesões sem perfuração podem passar em alguns dias, enquanto que se a membrana do tímpano perfurar podem demorar seis semanas ou mais. Em casos mais graves uma cirurgia pode ser necessária.¹⁸

O barotrauma do ouvido médio é uma lesão muito comum no mergulhadores. Deve-se a um desequilíbrio de pressão entre a cavidade do ouvido médio em relação à pressão ambiente no exterior do corpo, ou seja no caso do mergulhador, à pressão da água exercida na profundidade em que se encontra.¹⁹

De uma forma simples existem 6 formas de equalização da pressão:

- ✓ Manobra de Valsava (aumento da pressão intra-torácica com as narinas fechadas)
- ✓ Manobra de Toynbee (deglutição com as narinas ocluídas) devem ser realizadas desde o início da imersão, que corresponde ao início do aumento de pressão, permitindo que a trompa de Eustáquio se mantenha permeável e ocorra passagem de ar da nasofaringe para o ouvido médio. Mantém-se assim uma pressão igual do lado externo e interno da membrana timpânica.
- ✓ Manobra de Lowry: resulta da combinação da manobra de Toynbee com manobra de Valsava),
- ✓ Manobra de Edmonds : resulta da combinação da manobra de Valsava com a protusão e abertura da mandíbula;
- ✓ A manobra de Frenzel: consistindo na elevação da maçã de Adão com a boca e narinas fechadas;
- ✓ Manobra de BTV (Béance Tubaire Voluntaire) em que o mergulhador experiente consegue realizar a abertura voluntária das trompas de Eustáquio.

Sendo o barotrauma do ouvido interno menos frequente, este pode no entanto conduzir a hipoacusia neurosensorial permanente, tinnitus, vertigem e náuseas.

O mergulhador tem a noção da hipoacusia quando regressa à superfície ou após algumas horas do mergulho, sendo muitas acompanhada por tinnitus e sensação de plenitude auricular. A vertigem é frequente, mas transitória e moderada e raramente se apresenta como único sintoma. As náuseas quando presentes raramente são

suficientemente severas para causarem o vômito e a existência de vertigens persistentes ou episódicas durante vários dias são altamente sugestivas de fístula da janela redonda ou da janela oval.¹⁸

Conclusão

A arte de mergulhar tem na sua essência alguns riscos.

Sendo a vertigem alternobárica um tema que pela sua especificidade ainda pouco se sabe tentei ao longo deste trabalho reunir o máximo de informação para tentarmos compreender esta patologia no seu todo.

A prevenção da vertigem alternobárica por vezes não é tarefa fácil recomendar ao mergulhador que se abstenha de mergulhar quando se encontra congestionado em situações de infeções respiratórias altas.

É de extrema importância ensinar ao mergulhador técnicas de equalização da pressão nomeadamente a manobra de valsava a manobra de Toynbee, a manobra de Lowry, a manobra de Edmonds, a manobra de Frenzel bem como a manobra de BTV (Béance Tubaire Voluntaire).

O barotrauma mais frequente é sem duvida do ouvido médio, ocorrendo na sequência da disfunção da trompa de Eustáquio, que impossibilita a equalização entre a pressão exterior e o ouvido médio. O barotrauma do ouvido médio apresenta particularidades.

Quando existe uma pressão diferencial entre os dois ouvidos, pode ocorrer vertigem alternobárica, que agrava com o aumento desse diferencial de pressão e com a posição vertical. A vertigem durante o mergulho pode provocar uma perda da orientação espacial e do controlo de fluutuabilidade do mergulhador. Nos casos em que existe ruptura do tímpano, a água entra no ouvido médio e provoca um estímulo calórico com a diminuição rápida da temperatura do ouvido interno, o que irá alterar a densidade da endolinfa e provocar sintomas vestibulares. O mergulhador irá sentir desequilíbrio, náuseas e vômitos, desorientação espacial e sofrer também uma possível perda de controlo de fluutuabilidade, com consequente subida súbita e descontrolada. Pelo que a prevenção pelo conhecimento dos sintomas é a melhor arma para evitar a escalada de acontecimentos em mergulho.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador Dr. Marco Simão e ao Professor Doutor Óscar Dias pela ajuda prestada na realização deste trabalho.

Quero também agradecer aos Serviços da Ação Social da Universidade de Lisboa pelo apoio que me deram desde o primeiro dia que entrei na faculdade até à conclusão do curso.

Não poderia deixar também de agradecer ao Lions Club de Águeda ao Professor Doutor António Faria Gomes, ao Engenheiro Angelino Ferreira e ao Senhor Luís Mendes da Paz a atribuição de uma bolsa de estudo que foi sem dúvida determinante na conclusão do meu curso e à motivação que me incutiram.

Por último e não menos importante agradeço à minha mãe, aos meus avós e ao meu tio Dário o apoio ao longo destes 6 anos árduos.

Bibliografia

- 1 - F. Gentil, R.M. Natal Jorge, A.J.M. Ferreira, M.P.L. Parente, M. Moreira, E. Almeida, “Estudo biomecânico do ouvido médio considerando os ligamentos dos ossículos”, Métodos Numéricos en Ingeniería, JLP Aparício, AR Ferran, JAC Martins, R Gallego, JMA César de Sá (Eds.), CD-Rom (a15), Livro de Resumos, pp. 34, Granada, 4 - 7 de Julho de 2005.
- 2- Gray, H. (1918). Anatomy of the Human Body.
- 3 - BRUNNER&SUDDARTH. Tratado de Enfermagem Médico Cirúrgica. 9ª ed. Vol II: Editora Guanabara Koogan S.A., 2002.
- 4 - Q. Sun, R.Z. Gan, K.H. Chang, K.J. Dormer, Computer-integrated finite element modeling of human middle ear, Biomechanics and Modeling in Mechanobiology, 1, pp. 109-122, 2002.
- 5 -F. Gentil, R.M. Natal Jorge, A.J.M. Ferreira, M.P.L. Parente, M. Moreira, E. Almeida, “Estudo biomecânico do ouvido médio considerando os ligamentos dos ossículos”, Métodos Numéricos en Ingeniería, JLP Aparício, AR Ferran, JAC Martins, R Gallego, JMA César de Sá (Eds.), CD-Rom (a15), Livro de Resumos, pp. 34, Granada, 4 - 7 de Julho de 2005.
- 6- Soares JD. Semiologia Médica. Lisboa: Lidel; 2007.
- 7- Brandt T, Dieterich M. The vestibular cortex: Its locations, functions, and disorders. Ann N Y Acad Sci. 1999;
- 8- ANDRIEU, Bernard. Donner le vertige: les arts immersifs. Liber: Montreal, 2014.
- 9- Agustini, E. & Costa, S. I. R. “AWGNSignal Transmission in Hyperbolic Spaces”. In Proc. of IEEE-International Symposium on Information Theory ISIT-2005, Adelaide, Australia, 2005.
- 10- Blanusa, D. “ C^∞ -isometric imbeddings of the hyperbolic plane and of cylinders with hyperbolic metric in spherical spaces”. Annali di Matematica Pura et Applicata (SpringerVerlag), vol 4, n. 57, 1962, pp.321-337.

- 11- Purves D, Augustine G, Fitzpatrick D, et al. E. Central Vestibular Pathways: Eye, Head, and Body Reflexes. Neurosci 2nd Ed. 2001:2-4.
- 12- Edmonds, C., Lowry, C., Pennefather, J., Walker, R. (2002). Diving and Subaquatic Medicine. 4th ed. London: Arnold Publishers.
- 13 - Edmonds, C., McKenzie, B., & Thomas, R. (1992). Diving medicine for SCUBA divers. JL Publications, Melbourne.
- 14 - Denoble PJ, Vann RD, Pollock NW, Ugucioni DM, Freiburger JJ, Peiper CF. A case-control study of decompression sickness (DCS) and arterial gas embolism (AGE). Undersea and Hyperbaric Medicine 2005; 32(4): 302-303.
- 15- Schinazi EA, Natoli MJ, Pollock NW, Doar PO, Moon RE. Hyperbaric chamber system incorporating breathing apparatus for use during immersed exercise at vari. Undersea Hyperb Med 2005; 32(4): 247-248.
- 16- Uzun C, Yagiz R, Tas A, Adali MK, Inan N, Koten M, Karasalihoglu AR. Alternobaric vertigo in sport scuba divers and the risk factors. J Laryngol Otol. 2003.
- 17- Kitajima N, Sugita-Kitajima A, Kitajima S. Altered Eustachian tube function in scuba divers with alternobaric vertigo. Otol Neurotol. 2014.
- 18- Professional Association of Diving Instructors. Worldwide certification history. Available at: [http:// www.padi.com/padi/en/footerlinks/certhistorynum. aspx](http://www.padi.com/padi/en/footerlinks/certhistorynum.aspx). Accessed February 18, 2008.
- 19- Scubamed. Underwater medicine 2008. Dominica. January 12–19. Available at: [http://www.scubamed. com/tuum_prg.htm](http://www.scubamed.com/tuum_prg.htm). Accessed October 26, 2008.
- 20- Clenney TL, Lassen LF. Recreational scuba diving injuries. Am Fam Physician 1996;53:1761– 6.